

論文要約

海流発電実用化に向けた複数の垂直軸型回転装置周りの流れと動特性に関する数値的研究

鳥居 (荒木) 美保

産業革命以後、人類は飛躍的發展を遂げ、現在においても發展途上国を始めとした産業及び經濟の發展は留まるところを知らない。その反面世界のエネルギー消費量も年平均 2.5% で増加し続けており、主要な資源である化石燃料の有限性の問題やエネルギー生産時の環境影響の問題等は地球規模の大きな問題となっている。再生可能エネルギーの積極的な利用も図られているが、それらについても未だ課題は多く、風力発電や太陽光発電、バイオマス発電といった従来 방식に加えて新しいエネルギー源が求められている。そのような新エネルギーとして近年注目を集めているのが海洋エネルギーである。中でも海流や潮流といった海水の流れのもつ運動エネルギーを利用し電気エネルギーに変換する方式は、その高いエネルギーポテンシャルに加え、天候に左右されづらく発電量予測がしやすいという利点をもつ。加えて、類似の発電方式である風力と比較した際の特徴の一つに媒体の密度の違いがある。海水の密度は空気の約 800 倍であるため、海水が回転装置を通過し流速が多少小さくなったとしても、後流では引き続き大きなパワーを得やすい。そのため風力発電と違い、回転装置を比較的狭い領域内に多数設置できると考えられ、その際の各回転装置の相互作用の検証は重要なテーマの一つである。一般に、回転物体まわりの流れを解析する場合、物体とともに回転する回転座標系を用いることが多い。しかし、複数の回転体が存在する場合、特別な工夫が必要になり計算量も膨大となるため非常に困難である。

この課題を解決するため、本研究では、主に同期して回転する 2 つの垂直軸 S 字型の回転装置を用いた三次元シミュレーションを対象とし、精度を保ちつつ計算量を減らす新しいアルゴリズム「回転系・静止系補間接続格子」を提案する。加えて、提案手法を用いて複数の回転装置の距離や主流とのなす角を変化させることでその基本的な相互作用を確認すると共に、より多くの回転装置に対してもこの手法が適用可能であることを検証する。以下に詳細を述べる。

回転する物体を含む格子と領域全体の格子とを重ね合わせる場合等、格子が一致しない二つの領域間において、一方の領域境界上の格子点の物理量の値を他方から決めるとき、三次元の場合には隣接した 8 点 (二次元の場合は 4 点) からの補間が必要になる。ここで、補間においては誤差が避けられないため、補間が少ないほどよい。本方法「回転系・静止系補間接続格子」では周方向の一方のみ補間だけで済むため、通常の方法より精度がよいと言える。さらに、格子点の座標が時間的に変化する場合、毎回補間をする必要があり、隣接点を探すための計算負荷が大きい。本方法では補間における隣接点を探すことが非常に容易であり、計算時間の点でも有益である。加えて、回転座標系のみを用いた場合には、領域を大きくとると X と Y の絶対値が非常に大きくなるため計算が非常に難しくなる。本方法であれば回転領域を小さくとることができるため、その点でも有利である。

このような理由から、「回転系・静止系補間接続格子」を用いることで、回転装置が多数ある場合でも計算が可能となる。

この提案格子系を用い、非圧縮性 Navier-Stokes 方程式を、各領域でフラクショナルステップ法により解くことで、所望の検証を行った。なお、「回転系・静止系補間接続格子」を用いて作成したシミュレーションプログラムの妥当性の検証については、単一の回転装置での挙動、および二次元での 2 つの回転装置の挙動を、別の手法で行われた先行研究の結果と比較することにより行った。

本手法を用い、以下の検証を行った。

第一に、本研究で採用した垂直軸S字型の回転装置について、上下に端板をつけた場合とつけていない場合について検証を行った。本形状と類似の風車にサボニウス型風車があるが、一般的なサボニウス風車では効率向上のため上下に端板をつけた構造となっているため、本研究が対象とする機構においても端板の有無により効率に差が出るか確認を行った。上記提案手法で作成したプログラムを用い計算を行い、結果として、上下に端板をつけた方がより効率が向上することが明らかとなった。

第二に、2対の回転装置を並べた際に、その距離によって効率がどのように変化するか検証を行った。回転装置の半径の長さを R とし、その比で回転装置の回転軸間の距離が $4R$ となる場合、 $5R$ となる場合、 $6R$ となる場合について計算した。結果として、両回転装置間の距離を $4R$ に近づけることで、相互作用により回転の効率が良くなることが明らかとなった。

第三に、2対の回転装置を並べた場合における、流れの方向による2つの回転装置のトルク係数の違いを比較した。2対の回転装置の軸同士を結んだ線分に垂直に流れが当たる場合（0度）、斜めに当たる場合（45度）、並行に流れが当たる場合（90度）の3通りについて計算を行った。結果として、0度の場合には差異が見られず、45度の場合には下流側に位置する装置のトルク係数が上流側を上回り、90度では下流側の装置のトルク係数が著しく低下した。この結果から、上流側の装置によって主流が曲げられたり渦が生じたりすることで、下流側の装置のパフォーマンスが向上する可能性があることが示唆された。

第四に2対の回転装置の間に位相差を0度、45度、90度と生じさせた場合のトルク係数への影響を調査した。流れの方向が0度の場合、位相差0度で最もトルク係数が大きくなり、45度、90度とずれるにつれトルク係数は小さくなることを示した。また、流れの方向が45度の場合には位相差45度で後流側となる回転装置のトルク係数が低下することを明らかにした。これらの結果から、流れの方向ごとに最適な位相差が存在することが示唆された。

第五に、装置を多数設置した場合の計算への拡張性の簡易な確認として、装置を四つ設置した場合の計算を行った。

本研究では、海流発電における装置の開発・設置に関する先駆けとなる、計算手法の提案及び基礎的検討を行った。特に上記の第二・第三・第四の結果から、装置間の相互作用を考慮した最適な配置が存在することも示唆されるため、本研究は今後、本手法をさらに拡張しより大規模なシミュレーションを行うことで、海流発電の今後の発展に大きく寄与することが見込まれる。